

- разработка нормативно-технической документации по безопасности труда и необходимых мероприятий, направленных на защиту работников, обслуживающих установку МДО, а также требования к обслуживающему персоналу технологического процесса;
- разработка новых методик контроля для контроля многофункциональных МДО-покрытий.

Предложено для объективной оценки процесса нанесения и качества МДО-покрытий дополнительно применять методы контактной разности потенциалов [7] и экзоэмиссионной диагностики [8]. Ведутся работы по решению вопросов метрологического обеспечения предложенных методов и средств контроля. В связи с этим проводятся дополнительные исследования свойств МДО-покрытий, в которых доминантными характеристиками для исследования нами были приняты такие известные и исследуемые характеристики, как толщина, микротвердость, шероховатость и износостойкость, в сочетании дополнительно с эмиссионными характеристиками и контактной разностью потенциалов. При этом установление существования связи между механическими, геометрическими, физическими и эмиссионными свойствами и составляет объективную оценку качества поверхностного слоя.

### Выводы

1. МДО - гибкая, недорогая и экологически чистая технология электроплазмохимического преобразования поверхностного слоя вентильных металлов и их сплавов в оксидную керамику с уникальным комплексом свойств.
2. Предлагаемая технология позволяет использовать экологически более безопасные изделия при условии существенного сокращения энергетических, трудовых и временных затрат при проведении работ, при этом упрощается технология изготовления изделий, повышается производительность, появляется возможность улучшения одновременно нескольких характеристик.
3. Для успешного и эффективного внедрения и развития технологии МДО необходимо решение вопросов метрологического обеспечения и стандартизации.

**Список литературы:** 1. *Баковец В.В.* Плазменно-электролитическая анодная обработка металлов / Баковец В.В., Поляков О.В., Долговесова И.П. – Новосибирск: Наука, 1991. – 168 с. 2. *Коломейченко А.В.* Микродуговое оксидирование как способ восстановления и упрочнения деталей машин / А.В. Коломейченко, В.Н. Логачёв, Н.С. Чернышов // Инженерия поверхности и реновация изделий: матер. 2-й Междунар. науч.-техн. конф. – Киев : АТМ Украины, 2002. – С. 73-76. 3. Микродуговое оксидирование (обзор) / И.В. Суминов, А.В. Эпельфельд, В.Б. Людин [и др.] // Приборы. – 2001. – № 9. – С. 13-23. 4. Электролитно-плазменная обработка и нанесение покрытий на металлы и сплавы / А.Д. Погребняк, Ю.Н. Тюрин, А.Г. Бойко [и др.] // Успехи физики металлов. – 2005. – Т. 6. – С. 273-344. 5. *Войцень В.С.* Воздействие низкотемпературной плазмы и электромагнитного излучения на материалы / В.С. Войцень, С.К. Гужова, В.И. Титов. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 224 с. 6. *Мамаев А.И.* Высоковольтная импульсная техника, технологии и контроль синтеза наноструктурированных неорганических покрытий на детали сложной формы / А.И. Мамаев, В.А. Мамаева // Становление и развитие научных исследований в высшей школе: междунар. науч. конф., 14-16 сент. 2009. – Томск, 2009. – С. 252-258. 7. Шкилько А.М. Неразрушающие методы контроля металлов и узлов энергетического оборудования / Шкилько А.М. – К.: ИСИО, 1994. – 170 с. 8. Шкилько А.М. Экзоэмиссионная диагностика поверхности конструкционных материалов: монография / Шкилько А.М. – Харьков: «Ноулидж», 2009. – 240 с.

*Поступила в редколлегию 01.10.2010*

**УДК 621.001+621.757**

**Р.М. ТРИЩ**, докт. техн. наук, проф., УИПА, г. Харьков

## **РАЗМЕРНЫЙ РАСЧЕТ СБОРОЧНЫХ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ ПРИ СОЕДИНЕНИИ ДЕТАЛЕЙ НАГРЕВОМ**

У роботі розглянуті методи розрахунку розмірних ланцюгів. Даний опис утворення зазорів при з'єднанні деталей за допомогою нагріву. Пропонується при розрахунку складальних розмірних ланцюгів для зменшення погрішності замикаючої ланки використання додаткової величини.

В работе рассмотрены методы расчета размерных цепей. Дано описание образования зазоров при соединении деталей с помощью нагрева. Предлагается при расчете сборочных размерных цепей для уменьшения погрешности замыкающего звена использование дополнительной величины.

**Введение.** Перед тем как изделие будет направлено на изготовления и дальнейшую эксплуатацию, должен быть выполнен большой объем подготовительных работ связанных, в частности, с технологической подготовкой производства. Технологическая подготовка производства в качестве своей основы включает размерный анализ, который определяется как совокупность расчетно-аналитических процедур, осуществляемых при разработке и анализе конструкций и технологических процессов [1].

Размерный анализ представляет собой большой комплекс работ, который включают в себя, во-первых, разработку и анализ конструкций – определением и проверкой необходимых и достаточных требований, точности размеров, формы и взаимного расположения. Во-вторых, разработку технологических процессов: расчеты номинальных и предельных значений технологических размеров, прогнозирование возможных значений припусков, назначение всех промежуточных размеров на обработку, вычисление оптимальной с точки зрения механической обработки простановки размеров. В-третьих, анализ технологических процессов сборки – это проверка собираемости сборочных единиц, комплектов, изделий; выбор вида сборки по уровню взаимозаменяемости, обеспечение заданных значений выходных характеристик изделия.

Качество работы машины зависит от качества процесса сборки, или от величины сборочных погрешностей. Причины сборочных погрешностей различны. Одни из них определяются отклонениями параметров, возникающими еще в процессе изготовления собираемых деталей, другие - непосредственно на сборке. Однако те и другие погрешности устойчиво сохраняются в процессе эксплуатации, в значительной степени определяя надежность сборочного узла. В процессе эксплуатации изделия погрешности увеличиваются и, как правило, изделие выходит из строя либо переходит в категорию изделий более низкой точности. Поэтому особенно важную роль играет выявление и расчет сборочных размерных цепей.

**Расчет сборочных размерных цепей при соединении деталей нагревом.** В зависимости от вида производства, количества составляющих звеньев и способа сборки определяется метод расчета сборочных размерных цепей. Существует два метода расчета сборочных размерных цепей: метод максимум-минимум и метод вероятностного суммирования. Расчет размерных цепей по методу максимума и минимума, как правило, приводит к необоснованному ужесточению допусков на размеры составляющих звеньев размерной цепи. В связи с изложенным данный метод должен иметь ограниченное применение. В частности, этим методом пользуются при расчете размерных цепей с числом звеньев  $n \leq 4$ , а также при  $n > 4$  для изделий с единичным характером для предварительного решения некоторых практических задач по расчету многозвенных размерных цепей.

Более точным и научно обоснованным методом расчета размерных цепей является метод, основанный на теории вероятностей. При механической обработке деталей размеры имеют определенные погрешности. Эти погрешности носят случайный характер и в партии обработанных деталей имеют рассеяние своих значений в тех или иных пределах. При поступлении на сборку детали проходят окончательный контроль, в результате которого детали, имеющие размеры, выходящие за поле допуска, отбраковываются, а у оставшихся рассеяние погрешностей размеров будет лежать в пределах допуска.

Рассеяние погрешностей размеров подчиняется закону распределения случайных величин. Случайные величины делятся на дискретные и непрерывные. Погрешности размеров относятся к случайным величинам непрерывного типа. Законы распределения случайных величин непрерывного типа выражаются через плотность вероятности или дифференциальную функцию распределения  $\varphi(x)$ , где  $x$  – случайная величина.

В одной из теорем теории вероятностей доказано, что если случайная величина представляет собой сумму большого числа взаимно независимых случайных слагаемых, среди которых нет резко доминирующих по своей величине, то независимо от того, каким законом распределения подчиняются слагаемые, сумма всегда будет иметь распределение, близкое к нормальному, и тем точнее, чем больше число слагаемых.

Погрешность замыкающего звена и является такой случайной величиной, представляющей собой случайных погрешностей составляющих звеньев. Поэтому погрешности замыкающего звена будут подчиняться закону нормального распределения и тем точнее, чем больше число составляющих звеньев размерной цепи. Кроме этого величина замыкающего звена будет зависеть от способа получения соединения [2].

Сборка является одним из заключительных этапов производства. Качество сборки существенно влияет на качество изготовления изделия. Существующие нормативные документы, связанные с расчетом размерных цепей, не учитывают изменения размерных взаимосвязей в процессе сборки. Следовательно, стоит задача в получении новых зависимостей для расчета сборочных размерных цепей.

Рассмотрим многоэлементное соединение формируемое с использованием нагрева (рис. 1).

За счет одновременного действия радиальной силы и силы сжатия, обусловленных соответственно внутренним контактным давлением в результате натяга и температурными деформациями, происходит изменение размеров втулок, в сторону уменьшения.

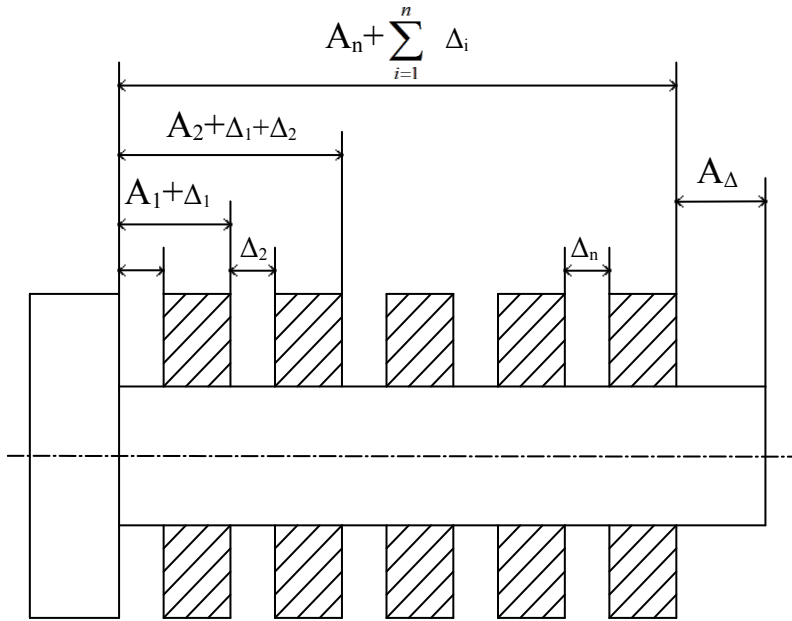


Рис.1 Многоэлементное соединение с определением составляющих и замыкающего звеньев

Для деталей из одинакового материала

$$\rho = -\frac{NE(D^2 - d^2)}{2D^2d}$$

Получаем

$$\Delta_{BT} = -\mu N \frac{Ad}{D^2}. \quad (2)$$

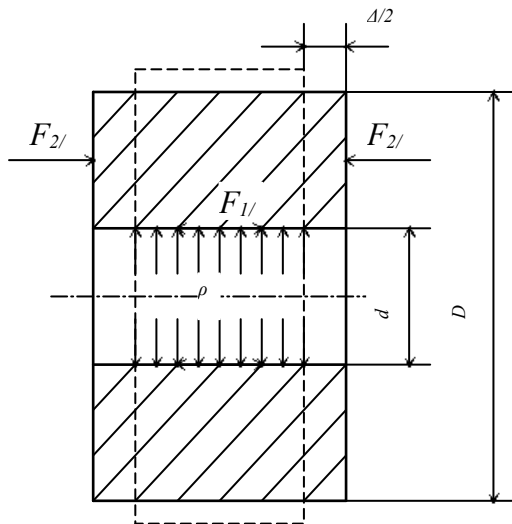


Рис. 2 Схема изменения размеров соединения при нагреве

$$c_B m_B T_B + c_{BT} m_{BT} T_{BT} = (c_B m_B + c_{BT} m_{BT}) = const,$$

где  $T_B$  и  $T_{BT}$  - текущая температура вала и втулки в любой момент времени  $\tau$  процесса скрепления;  $T_\phi$  - температура деталей соединения по окончании формирования на тяга.

Остывание нагретого тела происходит по экспоненциальному закону

$$T_{BT} - T_B = (T'_{BT} - T'_B) e^{-k\tau}, \quad (3)$$

Под воздействием постоянной радиальной силы (рис.2) перемещение  $\Delta_n$  торцевой поверхности втулок можно определить по формуле, которая получена на основании решения дифференциального уравнения, описывающего плоское напряженное состояние полого цилиндра.

$$\Delta_{BT} = \frac{2\mu\rho Ad}{E(D^2 - d^2)}, \quad (1)$$

где  $\mu$  - коэффициент Пуассона;  $\rho$  - контактное давление на посадочной поверхности, МПа;  $E$  - модуль упругости, МПа.

Анализ формулы (1) показывает, что при воздействии контактного давления  $\rho$  втулка будет сужаться в осевом направлении. В процессе остывания при соединении втулка обменивается теплом с валом и окружающей средой. Если считать, что тепло, переданное валу за время скрепления, не успевает распространиться по всей его массе, а сосредотачивается в части вала по посадочной поверхности, то можно записать

где  $T'_{BT}$  и  $T'_B$  - начальные температуры втулки и вала перед сборкой;  $k$  - коэффициент, который зависит от теплофизических свойств материалов втулки, вала и контактной зоны деталей, а также от массы собираемых деталей.

В момент времени  $\tau$  уменьшение длины втулки от изменения ее температуры будет определяться

$$\Delta' = \beta_{BT} A (T_{BT} - T_B). \quad (4)$$

Величина натяга в любой момент времени определяется

$$N_\tau = \beta_{BT} d [(T'_{BT} - T'_B) - (T_{BT} - T_B)]. \quad (5)$$

Из уравнения (3) и (4) получим

$$\Delta' = \beta_{BT} A \frac{T_{ck} c_B m_B}{c_B m_B + c_{BT} m_{BT}} e^{-k\tau}, \quad (6)$$

$$N_\tau = N (1 - e^{-k\tau}), \quad (7)$$

где  $T_{ck}$  - температура втулки в момент окончания скрепления.

В момент времени  $\tau$  сила трения  $F_1$  между посадочными поверхностями втулки и вала компенсирует силу  $F_2$  температурной деформации втулки, проскальзывание поверхностей деталей завершается (рис. 2).

Условия торможения деформации

$$F_1 \geq F_2 \quad \text{т.е.} \quad f_c \rho S_o \geq \frac{\Delta'}{A} SE, \quad (8)$$

где  $S_o$  - номинальная площадь сопряжения;  $S$  - площадь торца втулки.

Из уравнения (7) (8) получаем

$$\Delta' = \frac{2 f A^2 N \frac{c_B m_B}{c_B m_B + c_{BT} m_{BT}}}{2 f A d + D^2 \frac{c_B m_B}{c_B m_B + c_{BT} m_{BT}}}$$

С учетом уравнения (1) уравнение общего осевого удлинения втулки после ее скрепления с валом имеет вид

$$\Delta_o = \Delta_{BT} + \Delta' = \frac{AdN}{D^2} \left( \frac{2 f_c AB}{2 f_c A + dB} - \mu \right), \quad (9)$$

$$\text{где } B = \frac{c_B}{c_B d^2 + c_{BT} (D^2 - d^2)}.$$

Зазор между втулками многоэлементного соединения образуется из половин начальной температурной деформации и конечного общего осевого удлинения каждой из втулок после ее скрепления, и равен

$$\Delta = 0,5 (\beta_{BT} A T_{BT} + \Delta_o). \quad (10)$$

При скреплении двух посадочных поверхностей целесообразно учитывать, так называемую, первую точку схватывания.

Первая точка схватывания является случайной величиной. Так как ее расположение по посадочной поверхности зависит от случайных факторов: чистоты поверхности охватывающей и охватываемой деталей; равномерности температуры нагрева; отклонения формы и т.д. Предполагается, что изменение расположения первой точки схватывания происходит по нормальному закону распределения. Величина получаемого зазора зависит от расположения первой точки схватывания и лежит в пределах от 0 до  $(\beta_{BT} A T_{BT} + \Delta_o)$  (рис. 3).

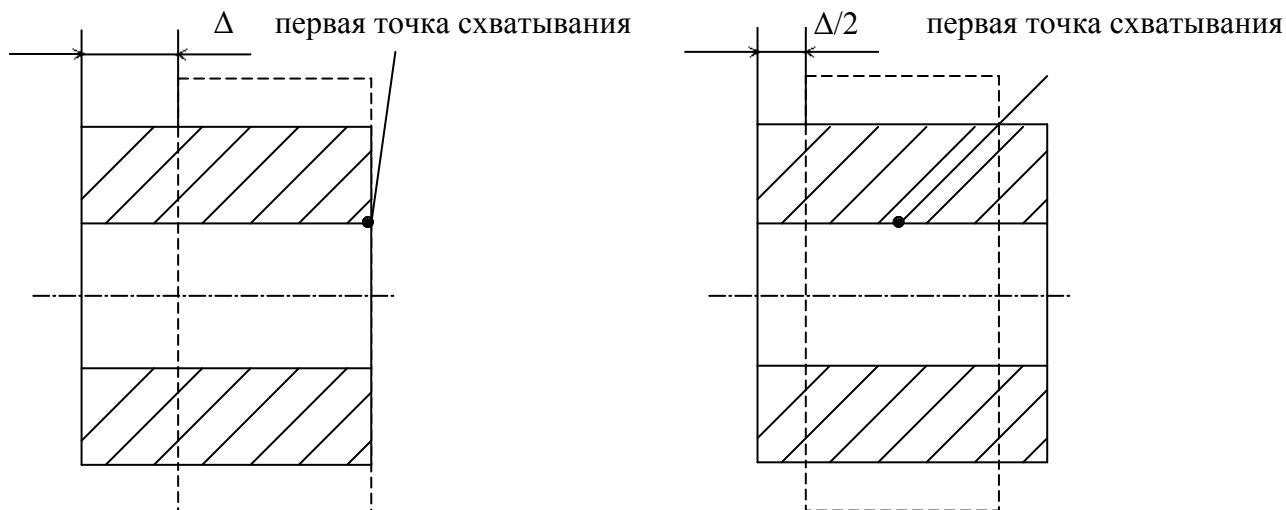


Рис. 3 Влияние первой точки схватывания на величину зазора

Так как при сборке с нагревом избежать образования зазора без дополнительных технологических или конструкторских решений невозможно. Поэтому в многоэлементном соединении при расчете сборочных размерных цепей для уменьшения погрешности получения значения замыкающего звена целесообразно учитывать дополнительную величину ( $\beta_{BT} AT_{BT} + \Delta_o$ ).

**Список литературы:** 1. Размерный анализ технологических процессов / В. В. Матвеев, М. М. Тверской, Ф. И. Бойков и др. – М.: Машиностроение, 1982. – 264 с. 2. Солонин И.С., Солонин С.И. Расчет сборочных и технологических размерных цепей. – М.: Машиностроение, 1980. - 110 с.

*Поступила в редколлегию 01.10.2010*

**УДК 621.311.25**

**Р.М. ТРИЩ** докт. техн. наук, проф., УИПА, г. Харьков

**Л.М. ШТАБСКИЙ**, канд. техн. наук, гл. инженер, Институт проблем управления Национальной Академии наук Украины,

**М.П. ГИРЯ**, отдел электротехнического оборудования МГП, Институт проблем управления Национальной Академии наук Украины

### **ОБ ОСОБЕННОСТЯХ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ АЭС, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ СТЕПЕНЬ ЕГО СТАРЕНИЯ**

Показано, що робота електротехнічного устаткування повинна забезпечувати стабільне електропостачання відповідальних споживачів власних потреб АЕС і видачу потужності в енергосистемі.

Показано, что работа электротехнического оборудования должна обеспечивать стабильное электроснабжение ответственных потребителей собственных нужд АЭС и выдачу мощности в энергосистему.

Безопасная и эффективная работа основного технологического оборудования АЭС в значительной степени зависит от надежной работы электротехнического оборудования, которое должно обеспечивать стабильное электроснабжение ответственных потребителей собственных нужд станции и выдачу мощности в энергосистему.